

В диссертационный совет 24.2.379.01, созданный на базе
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С. П. Королева»,
443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34.

ОТЗЫВ

официального оппонента, заведующего кафедрой «Высшая
математика» ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
университет телекоммуникаций и информатики», доцента,
д.ф.-м.н. Осипова Олега Владимировича на диссертацию
Яруновой Елизаветы Андреевны «Стабилизация оптического
поля широкоапертурных лазеров с помощью внешней оптической
инъекции», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.6 «Оптика»

На оппонирование представлены:

- диссертация, 127 стр. со списком использованных источников, включающим 144 наименования;
- автореферат диссертации;
- 28 печатных работ, из которых 9 опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов докторских и кандидатских диссертаций и/или рецензируемых базами данных Scopus и Web of Science.

Актуальность работы

На сегодняшний день в мире создание широкоапертурных лазеров тесно связано с необходимостью миниатюризации источников когерентного излучения. При этом большинство современных твердотельных и полупроводниковых лазеров имеют в своей структуре достаточно короткие резонаторы, что

приводит к возможности работы на одной продольной моде. С другой стороны, решение задач по увеличению уровня выходной мощности приводит к необходимости увеличения площади излучаемой поверхности активного слоя. Как следствие, это приводит к возникновению большого числа поперечных мод в подобных широкоапертурных лазерах. В этой связи на первый план выходят вопросы стабилизации оптического поля. В частности, одним из методов стабилизации является инжекция внешнего излучения с высокой амплитудой поля. Из научной литературы следует, что повышение стабилизации генерируемого оптического излучения возникает при значениях интенсивностей внешнего излучения, сравнимых по порядку с интенсивностью генерируемого оптического излучения. Интерес представляет исследование вопросов, связанных с возможностью стабилизации динамики широкоапертурных лазеров с инжекцией слабого по интенсивности оптического излучения.

Диссертация Яруновой Е.А. посвящена исследованию метода внешней оптической инжекции для подавления различных типов пространственно-временных неустойчивостей оптических полей, генерируемых в широкоапертурных лазерах.

Таким образом, тематика работы и полученные результаты являются актуальными и представляют интерес для использования в прикладных разработках.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Объём диссертации составляет 127 страниц, включая 63 рисунка.

Объектом исследования является широкоапертурный лазер.

Целью работы является определение и исследование особенностей подавления различных типов неустойчивостей оптических полей, генерируемых широкоапертурными лазерами с внешней оптической инжекцией.

Во **введении** проведён литературный обзор тематики проводимых исследований. Подробно рассмотрены современные тенденции в области широкоапертурных лазеров; возможности улучшения характеристик их излучения с помощью метода внешней оптической инжекции; различные виды неустойчивостей; разнообразные методы стабилизации генерируемого излучения. В частности, показана необходимость исследования стабилизации оптического

поля при различных случаях пространственно-временных неустойчивостей. На основе проведенного обзора сформулированы цель и задачи диссертации. Во введении приведены основные защищаемые положения, подчеркнута новизна работы, её научная и практическая значимость, представлен вклад автора в решение поставленных задач.

Первая глава посвящена вопросам построения математических моделей пространственно-временной динамики оптического поля широкоапертурных лазеров. В разделе 1.1 дан обзор современных теоретических и экспериментальных исследований по указанному вопросу, а также рассмотрены основные виды пространственно-временной неустойчивости оптического поля, которые возникают в широкоапертурных лазерах (неустойчивостью Тьюринга, неустойчивость плоской волны и модуляционная неустойчивость). Рассмотрены методы стабилизации оптического излучения широкоапертурных лазеров. В разделе 1.2 приведено описание модели Максвелла-Блоха с внешним оптически излучением в двухуровневом приближении. В разделе 1.3 рассмотрена эффективная модель Максвелла-Блоха для широкоапертурного VSCEL с учетом фактора Генри. В разделе 1.4 описаны основные численные методы решения систем дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа, на основе которых проводится численное моделирование пространственно-временной динамики оптического поля широкоапертурных лазеров.

Вторая глава посвящена вопросам стабилизации излучения широкоапертурного лазера класса В с помощью инжекции внешнего оптического поля. В подобных лазерах основной неустойчивостью является неустойчивость Андронова-Хопфа (волновая неустойчивость). В разделе 2.1 рассмотрены вопросы ее подавления при помощи инжекции внешнего нерезонансного оптического излучения. Раздел 2.2 посвящен подавлению оптической неустойчивости Фарадея в том же самом лазере также с помощью инжекции оптического поля. В разделе 2.3 рассматривается одновременное подавление неустойчивостей Андронова-Хопфа и Фарадея в широкоапертурном лазере класса В. Основным выводом из главы 2 является то, что внешнее оптическое излучение малой амплитуды подавляет перечисленные оптические неустойчивости и позволяет получать пространственно-однородное оптическое излучение даже в случае одновременного присутствия двух указанных выше неустойчивостей.

Третья глава посвящена вопросам стабилизации излучения широкоапертурного VCSEL лазера класса В с помощью инжекции внешнего оптического поля. Раздел 3.1 посвящен исследованию механизма стабилизации пространственно-временной динамики широкоапертурного VCSEL с помощью слабой внешней резонансной оптической инжекции. Показано, что наблюдаемая динамика характеризуется нерегулярными изменениями интенсивности во времени и в поперечном профиле выходного пучка. При помощи численного моделирования доказывалось, что инжекция слабого оптического поля позволяет полностью подавить неустойчивости в системе. При этом стабилизация с помощью внешней оптической инжекции имеет пороговую природу и превышение некоторого порога позволяет подавить полностью неустойчивости и получить на выходе нефиламентированное выходное когерентное излучение. В разделе 3.2 рассматриваются вопросы формирования стационарных пространственных оптических структур в широкоапертурном VCSEL под воздействием внешней оптической инжекции, а в разделе 3.3 — учет влияния кривизны профиля тока накачки и формы пучка внешнего оптического излучения для подавления модуляционной неустойчивости оптического поля. В результате были определены условия формирования стационарных пространственных оптических структур в виде полос и гексагонов в системе широкоапертурного VCSEL в зависимости от значения амплитуды внешнего оптического излучения, в также доказано, что эффект стабилизации оптического поля оказывается достаточно чувствительным к форме профиля тока накачки.

Четвертая глава посвящена исследованию эффектов нерезонансной внешней оптической инжекции в системе широкоапертурного VCSEL лазера. Раздел 4.1 посвящен вопросам подавления неустойчивостей оптического поля с помощью нерезонансной внешней оптической инжекции. Рассчитаны бифуркационные диаграммы (зависимости порогового напряжения E_{inj} от частотной отстройки δ_i), которые позволили определить область стабильной генерации VCSEL при наличии инжекции нерезонансного оптического поля. В разделе 4.2 рассмотрен случай широкоапертурного VCSEL с нерезонансной внешней оптической инжекцией и положительным фактором Генри. Были рассчитаны области неустойчивостей Тьюринга и плоской волны, из которых видно для положительных значений фактора Генри α всегда существуют оба типа указанных выше оптических неустойчивостей. В разделе 4.3 рассмотрен случай широкоапертурного VCSEL с нерезонансной внешней оп-

тической инъекцией и отрицательным фактором Генри. Были рассчитаны области неустойчивостей Тьюринга, Андронова-Хопфа и плоской волны при отрицательном значении фактора Генри. В результате численного моделирования были получены пространственные оптические структуры: паттерны и гексагоны.

В **заключении** перечислены основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

Научная новизна

1. Доказано, что неустойчивость Фарадея оптического поля широкоапертурного лазера эффективно подавляется инъекцией оптического излучения. Выявлены диапазоны значений параметров внешнего оптического излучения, при которых происходит одновременное подавление неустойчивостей Андронова-Хопфа и Фарадея.
2. Доказано, что модуляционная неустойчивость оптического поля подавляется резонансным внешним оптическим излучением в широкоапертурном VCSEL лазере. Вычислено значение амплитуды внешнего оптического поля, необходимой для генерации пространственного однородного профиля интенсивности.
3. Доказано, что для широкоапертурного VSCEL для положительных значений фактора Генри α всегда существуют области неустойчивостей Тьюринга и плоской волны.
4. Доказано, что для широкоапертурного VSCEL для отрицательных значений фактора Генри α наблюдается формирование стационарных пространственных оптических структур — паттернов и гексагонов.

Достоверность и обоснованность результатов

Сформулированные в диссертации научные положения и выводы представляются достаточно обоснованными и достоверными, поскольку основаны на апробированных методах математического моделирования и корректно составленной физической модели исследуемого объекта. Достоверность результатов также подтверждается согласием полученных результатов с данными других авторов, включая экспериментальные данные.

Практическая значимость исследования

Практическая значимость исследования состоит в том, что результаты работы могут быть использованы при создании оптических систем для формирования стационарных оптических паттернов.

Апробация результатов

Диссертационная работа Яруновой Е.А. прошла достаточную апробацию в ходе обсуждения ее отдельных частей на международных научно-технических конференциях.

Результаты диссертации опубликованы в 28 научных работах, 9 из которых опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов докторских и кандидатских диссертаций и/или рецензируемых базами данных Scopus и Web of Science.

Автореферат соответствует диссертации и достаточно полно отражает ее содержание.

Замечания

Однако диссертация не лишена некоторых недостатков, среди которых отмечу следующие.

1. Основным методом стабилизации излучения в широкоапертурных лазерах в диссертационной работе является инжекция внешнего оптического поля, однако во всей диссертационной работе не рассматриваются способы его введения в лазерную систему.
2. В разделах 2.1 и 2.2 диссертационной работы приведены бифуркационные диаграммы (рисунки 31 и 32). Во первых, непонятно на основе каких математических соотношений они были рассчитаны? Во вторых, в первом случае это зависимости E_{inj} от θ , а во втором — r_0 от δ . В чем причина использования различных наборов параметров при построении бифуркационных диаграмм?
3. В целом по тексту диссертации в большинстве случаев возникает вопрос: на основании какой математической модели (соотношений) были рассчитаны и построены те или иные характеристики?

4. На рисунках 35 и 39 приведены временные зависимости интенсивности. В каких единицах измеряются интенсивность и время? Что значит интенсивность равна 18, 30 и т.д. При этом на рис. 43 значение интенсивности 0.14, на рис. 46 — 0.08 и т.д. Почему значения интенсивностей на указанных рисунках настолько сильно отличаются?
5. На рис. 58 также не указана единица измерения тока накачки.
6. Обобщая два предыдущих замечания, можно отметить, что вообще в диссертационной работе не приведены конкретные значения интенсивности, пороговой мощности, тока накачки и других параметров.
7. В диссертации не уделяется достаточного внимания физическим причинам возникновения различных типов неустойчивости (Тьюринга, Андронова-Хопфа, Фарадея, плоской волны) применительно к широкоапертурным лазерам в каждом из рассматриваемых случаев.
8. Присутствуют небрежности в оформлении текста диссертационной работы. Например, подписи к рисункам 32, 34 и 36, размещены на следующих страницах по отношению к самим иллюстрациям.

Указанные замечания, без сомнения, **не снижают общую высокую оценку** представленной диссертационной работы.

Заключение

Тема исследования соответствует специальности 1.3.6. Оптика. Диссертационная работа Е.А. Яруновой на тему «Стабилизация оптического поля широкоапертурных лазеров с помощью внешней оптической инъекции» удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 11.09.2021 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Ярунова Елизавета Андреевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Осипов Олег Владимирович,
доктор физико-математических наук,
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»,
заведующий кафедрой высшей математики.
443084, Московское шоссе, 145-9, г. Самара
тел. +7(917)9411073
o.osipov@psuti.ru



Шифр специальности, по которой была защищена докторская диссертация Осипова О.В.:
01.04.03 – «Радиофизика».

Подпись Осипова О.В. заверяю:
Секретарь Ученого совета ПГУТИ



Стефанова Н.А.

11.11.2024

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,
443010, г.Самара, ул. Л.Толстого, д. 23, тел. +7(846)3322161.